5.8 COORDINACION.

La dirección de movimiento de un avión no tiene porqué ser necesariamente la misma a la cual apunta su eje longitudinal, o lo que es lo mismo, el morro del avión. Este concepto puede parecerle nuevo a algunas personas, dado que normalmente los objetos en que viajan (automóviles, bicicletas, etc...) apuntan en la misma dirección en la que se mueven, aunque si ha visto algún rally de coches los conceptos de resbale y derrape no le serán tan extraños.

En un automóvil, un único mando controla la dirección a la que apunta el frontal del automóvil y la dirección en que se mueve porque normalmente estas coinciden, pero un aeroplano tiene controles diferentes para mantener la dirección de vuelo (volante de control) y la dirección a que apunta el morro porque *no necesariamente* ambas coinciden.

Si la dirección de vuelo (trayectoria) y la dirección a la que apunta el morro del avión son distintas el avión no vuela coordinado, esta resbalando o derrapando. En un giro, si el viraje es coordinado el morro del avión apunta en la misma dirección del giro, pero si apunta en otra dirección el avión vuela descoordinado.
Es importante que el aeroplano este *apuntando* en la misma dirección a la que se dirige a través del aire, mantener nulo el ángulo de deslizamiento mientras se maniobra, mediante el uso coordinado de alerones y timón de dirección, por las siguientes razones:

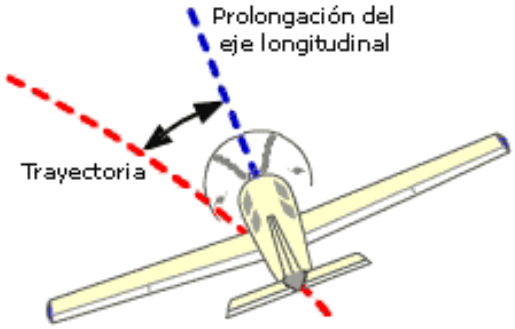

Fig.5.8.1 - Angulo de deslizamiento.

- Eficiencia. Si su objetivo es virar a un lado no tiene sentido comenzar la maniobra con una guiñada al lado contrario. Además, todos los resbales o derrapes crean un montón de resistencia innecesaria.
- Comodidad. En la mayoría de los aviones ligeros, los pilotos están sentados cerca del centro de pivote del avión y apenas notan los movimientos de guiñada, pero si lleva a alguien en el asiento trasero lo notará mucho más, no le sentará nada bien que le mueva de lado a lado y puede incluso que le eche encima lo que haya comido.
- Seguridad. Si entra en perdida volando coordinadamente, el morro del avión tenderá normalmente a caer derecho y adelante facilitando la recuperación de la misma, pero si la pérdida se produce volando con suficiente descoordinación corre el riesgo de entrar en barrena, que es mucho más peligrosa y difícil de recuperar.

5.8.1 Estabilizador vertical.

Un aeroplano no es complemente libre de girar alrededor del eje de guiñada. Si el ángulo de deslizamiento (la diferencia entre la dirección de vuelo y a la que apunta el morro) es mayor que unos pocos grados el rendimiento se empobrece. El estabilizador vertical de cola está diseñado precisamente para mantener el ángulo de deslizamiento dentro de unos límites.

La fig.5.8.2 muestra una situación donde la dirección a la que apunta el aeroplano no está alineada con el flujo de aire, debido a una ráfaga de viento, un movimiento inadvertido y descoordinado de los controles, etc... Al incidir el viento relativo sobre el estabilizador vertical con un ángulo, este produce sustentación en proporción a dicho ángulo de ataque como cualquier otro perfil aerodinámico y esta fuerza tiende a realinear el aeroplano con el viento, diciéndose en este caso que el aeroplano tiene estabilidad sobre el eje de guiñada. El alejamiento del empenaje de cola respecto al centro de gravedad del avión amplía el efecto de la fuerza ejercida, de manera que amortigua bastante bien los movimientos de guiñada.

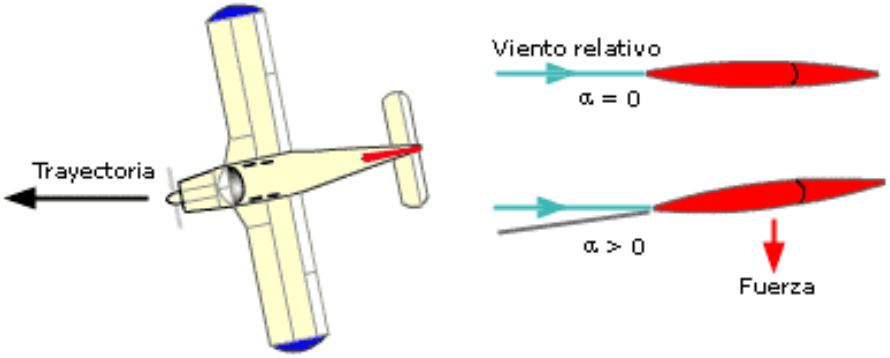

Fig.5.8.2 - Efecto veleta del empenaje vertical de cola.

Los anglosajones le llaman a esto coloquialmente "weathervaning tendency" o sea "efecto veleta" debido a que el avión tiende a alinearse con el viento lo mismo que una veleta, denominando a este tipo de estabilidad "yaw stability o directional stability" mientras que en español recibe el nombre de estabilidad direccional (ver 1.6).

5.8.2 Timón de dirección.

Si en vuelo recto y nivelado una ráfaga de viento lateral provoca el deslizamiento del avión respecto a su dirección de vuelo, el estabilizador de cola hará su trabajo retornando al avión a una situación de cero ángulo de deslizamiento. Pero que un avión tenga buena estabilidad direccional no es una garantía absoluta, es posible que la ráfaga sea de tal intensidad que el piloto necesite intervenir para corregir la situación: esta es una de las tareas del timón de dirección.

Por otro lado, sabemos que existen muchas causas que provocan que el avión rote sobre su eje vertical en una dirección no deseada, lo que conocemos como guiñada adversa; contrarrestarla es otra de las tareas del timón de dirección. Los diseñadores de aeroplanos por supuesto que conocen este efecto y tratan de minimizarlo de distintas formas:

- Desplazando ligeramente el estabilizador de cola para que este se alinee con el flujo de aire y no con el eje del avión.
- Desplazando el eje del sistema propulsor para que la estela de la hélice incida menos sobre el empenaje vertical de cola.
- Mediante deflexión diferencial de los alerones. El alerón que sube lo hace unos pocos grados más que el que baja. De esta manera el ala abajo en un giro (alerón arriba) tiene mayor resistencia inducida y menor velocidad contrarrestando algo la guiñada adversa.
- Conectando mediante muelles los alerones con el timón de dirección, de forma que cuando se mueven los alerones el timón de dirección también lo hace.
- etc...

Como es materialmente imposible compensar la guiñada adversa a cualquier velocidad del avión, puestos a elegir los constructores aplican una o varias de las características anteriores para que trabajen bien a velocidad de crucero, es decir con una potencia y velocidad determinadas. De esta forma, puede volar en crucero casi con los pies en el suelo, pero lo malo de esto es que se confíe, a bajas velocidades, que es cuando más necesario se hace volar coordinadamente, estos diseños trabajan mal y necesitará manejar los pedales de forma activa para mantener el vuelo coordinado.

En situaciones de alta velocidad y poca potencia (por ejemplo en planeo), la compensación de la guiñada mediante los diseños es mayor de la necesaria y el avión guiña al contrario de lo esperado, necesitando aplicar pedal para corregir este efecto. Por el contrario, en situaciones de baja velocidad y mucha potencia (por ejemplo en el despegue o en vuelo lento), la compensación es insuficiente, así que también tendrá que actuar sobre el pedal para cubrir este déficit.

5.8.3 En un viraje.

Al deflectar los alerones para iniciar un giro, el ala que sube producirá más sustentación y con ello mayor resistencia, mientras que el ala que baja tendrá menos sustentación y menor resistencia: "*la sustentación diferencial conlleva resistencia diferencial*". Esto provoca que el ala abajo (interior al eje de giro) que tiene menos resistencia se adelante y que el ala arriba (exterior al eje de giro) con mayor resistencia se retrase; el avión entonces hace un movimiento no deseado, guiña al lado contrario al giro.

Fig.5.8.3 - Guiñada adversa en giro.

Para anular este efecto el piloto debe aplicar pedal del lado al cual mueve el volante de control (ver 5.7), tanto al iniciar el giro como al deshacerlo.

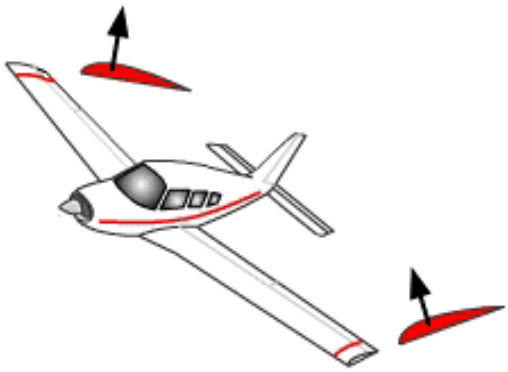

Fig.5.8.4 - Guiñada adversa constante durante un giro.

Una vez establecido el avión en un viraje con tasa constante, aunque los alerones estén deflectados ambas alas tienen la misma sustentación, y por lo tanto no hay resistencia diferencial. Pero aunque la fuerza de sustentación en ambas alas tiene la misma magnitud, sus vectores están ligeramente girados; en el ala abajo un poco hacia delante y en el ala arriba un poco hacia atrás. Esta sustentación "girada" produce un momento de fuerza que da lugar a una guiñada adversa constante durante todo el giro. En el caso de la fig.5.8.4 el avión está virando a la izquierda con una ligera tendencia a guiñar a la derecha.

Es necesario seguir manteniendo presión sobre el pedal del lado del giro, algo menos que al entrar en el mismo, pero hay que seguir manteniéndola.

Según hemos visto en el capítulo anterior, para hacer un viraje el piloto alabea el avión hacia el lado al cual quiere virar, de esta forma cambia la dirección de movimiento del avión; al mismo tiempo, aplica pedal del lado del giro para contrarrestar la guiñada adversa.

Al alabear se ha cambiado la dirección de movimiento del aeroplano (de su masa) pero a la que apunta el morro del avión sigue siendo la misma. Aunque el empenaje de cola hace su trabajo y trata de alinearse con "su" viento relativo, al moverse el avión en una trayectoria curvada este viento relativo se encuentra desplazado respecto al de las alas.

Resultado, el avión gira en una dirección mientras mantiene el morro apuntando a otra ligeramente desplazada respecto de aquella, el ángulo de deslizamiento no es nulo. Para mantener el eje longitudinal del avión alineado con la dirección de movimiento, lo que llamamos un giro coordinado, es necesario anular el ángulo de deslizamiento deflectando el timón de dirección hacia el lado del giro, es decir aplicando pedal de ese lado.

En base a lo detallado anteriormente, se puede afirmar que: "*el propósito principal del timón de dirección consiste en contrarrestar el efecto de la guiñada adversa y contribuir a mantener el control direccional del aeroplano*". Si quiere volar de forma coordinada recuerde: la deflexión de los alerones implica deflectar también el timón de dirección, aplicar pedal del mismo lado al cual se gira el volante de control. La deflexión del timón debe ser proporcional a la deflexión de los alerones.

5.8.4 Indicaciones de la bola.

El instrumento que muestra la calidad del giro, es decir, si este es coordinado, si el avión "derrapa", o si "resbala" es la bola del coordinador de viraje, lo cual le hace una referencia fundamental para la coordinación de los controles que intervienen en el giro (alerones y timón de dirección).

En vuelo recto y nivelado la única fuerza que actúa sobre la bola es la de gravedad, las fuerzas centrífuga y centrípeta son inexistentes y la bola se mantiene centrada en el tubo. Pero en un viraje, la bola está sometida al mismo conjunto de fuerzas que el resto del avión; si el viraje es coordinado, las fuerzas están compensadas y la bola permanecerá en el centro del tubo, entre las dos líneas de referencia verticales; si el viraje no es coordinado las fuerzas tienen distinta magnitud y la bola se desplazará dentro del tubo hacia el lado de la fuerza mayor indicando un "resbale" o un "derrape".

La bola pues, no es ni más ni menos que un indicador del balance de fuerzas, mostrando de forma visual la coordinación o falta de coordinación en el uso de los mandos.

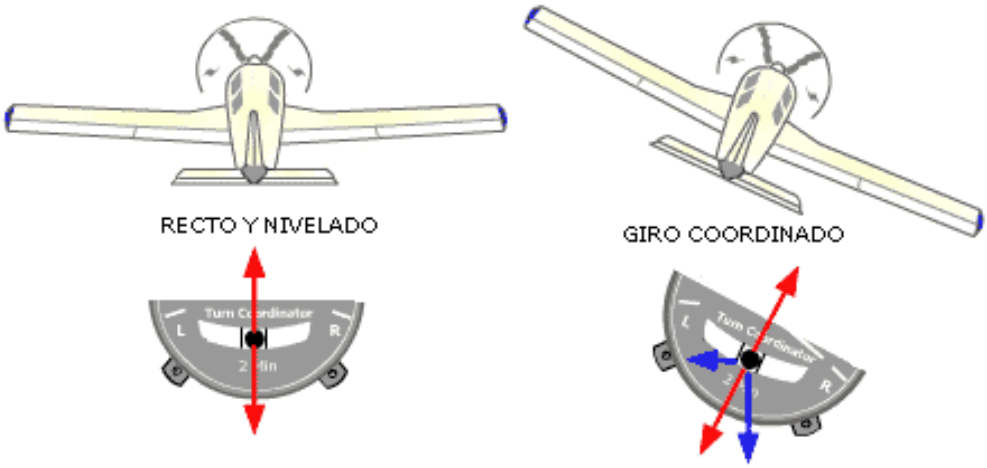

Fig.5.8.5 - Fuerzas ejercidas sobre la "bola" del inclinómetro.

Puesto que en un giro la magnitud de las fuerzas depende del grado de alabeo y del régimen o tasa de viraje, lo que está indicando la bola es la relación existente entre el régimen de viraje y el grado de alabeo, la "calidad" del viraje.

5.8.5 Derrape.

Si la bola se mueve hacia el lado contrario al viraje, el avión está derrapando, su eje longitudinal apunta en una dirección desplazada interiormente a la trayectoria del giro.
La fuerza centrífuga es mayor que el componente horizontal de sustentación; como la fuerza centrífuga depende del régimen de viraje y el componente horizontal de sustentación depende del grado de alabeo, esto significa que el alabeo dado es insuficiente para el régimen de viraje impuesto, o viceversa.
Típicamente esto sucede cuando se entra en un giro con mucha velocidad y poco alabeo, si al comenzar el giro se pisa en exceso el pedal interior, o cuando se intenta estrechar el radio de giro aplicando más pedal interior en vez de aumentar el alabeo.

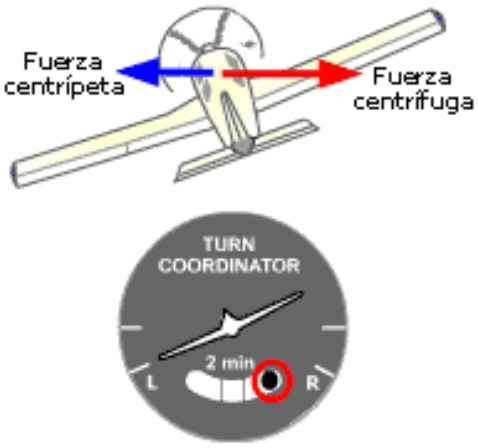

Fig.5.8.6 - Indicación de derrape.

Para corregir el derrape hay que equilibrar las fuerzas, disminuya el régimen de viraje, incremente el grado de alabeo, no pise tanto el pedal interior, o una combinación adecuada de lo anterior.

5.8.6 Resbale.

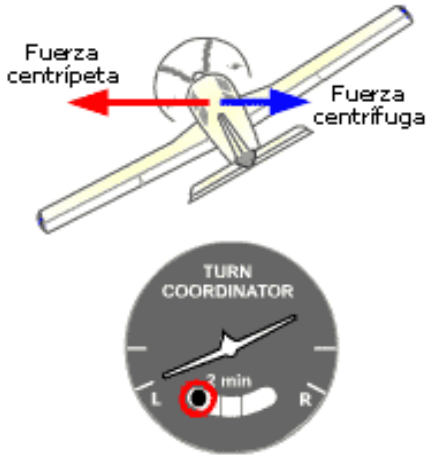

Fig.5.8.7 - Indicación de resbale.

En este caso, la bola se desplaza hacia el lado del viraje, su eje longitudinal apunta en una dirección desplazada exteriormente a la trayectoria del giro. Al contrario que en el caso anterior, el componente horizontal de sustentación excede a la fuerza centrífuga, eso significa que el alabeo es excesivo para la tasa de viraje o lo que es lo mismo, que la tasa de viraje es insuficiente para el alabeo impuesto.
Si entra en un viraje sin pisar el pedal de ese lado en proporción al grado de alabeo, o pisa el pedal contrario, o con excesivo alabeo para el régimen de giro, el avión resbalará.
Para corregir un resbale, de nuevo hay que equilibrar las fuerzas, aumente el régimen de viraje, disminuya el grado de alabeo, pise un poco más el pedal interior, o cualquier combinación adecuada de lo anterior.

En algunos manuales y libros, se explica el desplazamiento de la bola recurriendo al desequilibrio entre las fuerzas de gravedad y centrífuga. La fuerza de gravedad "tira" de la bola hacia abajo en tanto la centrífuga tira de la bola hacia afuera. Si la fuerza centrífuga es superior a la de la gravedad la bola se desplazará hacia afuera, mientras que si la fuerza centrífuga es inferior, la bola permanecerá en la parte más baja del tubo que la contiene. Si ambas están en equilibrio la bola estará centrada.
Por mi parte he preferido la explicación aquí dada porque me parece más fácil asociar derrape y resbale con un desequilibrio de fuerzas horizontales.

5.8.7 Derrapar es peor que resbalar.

Aunque no parece existir diferencia entre derrape y resbale si que la hay y mucha. Un derrape es un tipo particular de resbale que ocurre cuando el avión está en un alabeo y el flujo de aire no coordinado está viniendo del lado del ala levantada. Con velocidad suficiente la aerodinámica del derrape es la misma que la del resbale, en ambos casos el aire fluye de través sobre el fuselaje. Ahora bien, acostúmbrese a no derrapar el avión por la razón siguiente:
Si entra en pérdida, basta un ligero flujo de viento de través para que un ala entre en pérdida antes que la otra; en particular, tener el timón deflectado a la derecha significa que el aeroplano debe súbítamente alabear a la derecha, lo mismo a la izquierda. Si está en un alabeo de 45º aplicando excesivo timón de ese lado (derrape) y el ala cae (alabeando otros 45º) se encontrará con las alas en posición vertical.

Por el contrario, en un resbale Vd. está aplicando pedal del lado contrario al giro, un súbito alabeo de 45º le pondrá con las alas niveladas, que es mucho mejor que la situación anterior.

Conclusión: *nunca aplique pedal (timón) del lado interior al giro en más de lo necesario para mantener la bola centrada*.

El énfasis puesto en la necesidad de mantener la coordinación en los giros, no debe hacer olvidar al piloto la importancia de mantener la bola centrada, tanto en los giros como en vuelo recto y nivelado, salvo que desee realizar un resbale intencionado. Si la bola no está centrada el avión no está volando eficientemente.

5.8.8 Percibiendo la coordinación en un giro.

Para aprender buena coordinación lo primero es mirar a los lados. Cuando alabea en un giro debe ver que un ala baja y otra sube; si una se mueve abajo y adelante y otra arriba y atrás entonces es que no está aplicando suficiente pedal.
Para controlar el alabeo aprenda a juzgar la actitud de morro por el ángulo que forma la cuerda del ala con el horizonte lateral y la actitud de alabeo por la altura relativa del extremo del ala por encima o por debajo de ese horizonte.
Mire al frente y memorice la actitud a mantener por el ángulo del morro del avión respecto al horizonte, y sienta el ritmo con el cual el morro barre el horizonte para distintos grados de alabeo.

5.8.9 Resbale intencionado.

Un resbale suena como algo malo para el vuelo, pero hay algunas situaciones en que el piloto puede utilizarlo en provecho propio, como veremos seguidamente.

El resbale se efectúa bajando un ala y aplicando pedal del lado contrario. La idea es alabear a un lado y no dejar que el avión vire a ese lado sino mantener la trayectoria recta aplicando pedal (timón) al lado contrario. La deflexión del timón produce que el aire fluya algo cruzado sobre el fuselaje, lo cual crea mayor resistencia que si el flujo estuviera alineado.

Normalmente, los resbales son utilizados con dos propósitos: Uno es incrementar la tasa de descenso sin aumentar la velocidad de planeo. La mayor resistencia creada por el resbale hace que el avión descienda en una senda mas pronunciada, lo cual puede servir por ejemplo para salvar un obstáculo cercano a la pista de aterrizaje, o para disipar rápidamente un exceso de altura en la aproximación.

El otro caso se da en aterrizajes con viento cruzado de cierta intensidad. El viento cruzado no solo hace derivar al avión respecto al eje de la pista sino que además tiende a levantar el ala de ese lado. En este caso, se alabea hacia el lado del viento y mediante el timón de dirección se mantiene el morro del avión alineado con el eje de la pista. De este modo se contrarresta la acción del viento cruzado, pues la fuerza de este se compensa con la fuerza del componente horizontal de la sustentación, manteniendo además la dirección de vuelo y el eje longitudinal del avión alineados con la pista.

Otros casos en los que un resbale puede ser útil al piloto son por ejemplo:
En un aterrizaje de emergencia. El lugar elegido para aterrizar está cercano y nos encontramos con un exceso de altura que sin embargo no es tanto como para extender flaps; un resbale será útil.
Llamas en el motor. Si por alguna razón desconocida se produce fuego en el motor, resbalando impediremos que las llamas incidan sobre el cristal de la cabina, se irán a un lado.

Debido a la colocación del tubo pitot y las tomas estáticas, el piloto debe ser consciente que en algunos aeroplanos la indicación de la velocidad en el anemómetro puede tener un error considerable durante un resbale.

IMPORTANTE: Aunque normalmente un resbale se realiza con flaps arriba, antes de realizar un resbale con los flaps extendidos asegúrese con el Manual de Operación del aeroplano que esto no está prohibido.

Sumario.

- La dirección de movimiento de un avión no tiene porqué ser necesariamente la misma a la cual apunta su eje longitudinal.
- Si la dirección de vuelo y la dirección a la que apunta el morro del avión son distintas el avión no vuela coordinado, esta resbalando o derrapando.
- Es importante que el aeroplano este *apuntando* en la misma dirección a la que se dirige, mantener nulo el ángulo de deslizamiento mientras se maniobra, por eficiencia, comodidad y seguridad.
- El estabilizador vertical de cola está diseñado para mantener el ángulo de deslizamiento dentro de unos límites.
- Cuando el flujo de aire incide con un ángulo sobre el estabilizador vertical, este produce una fuerza de sustentación proporcional a dicho ángulo, fuerza que tiende a realinear el aeroplano con el viento.
- Este "efecto veleta" es lo que proporciona al avión estabilidad direccional o estabilidad sobre el eje de guiñada.
- Una de las tareas del timón de dirección radica en proporcionar al piloto un medio para contrarrestar la guiñada adversa.
- Los diseñadores tratan de minimizar el efecto de guiñada adversa de varias formas: desplazando ligeramente el estabilizador de cola, desplazando el eje del sistema propulsor, mediante deflexión diferencial de los alerones, conectando mediante muelles los alerones con el timón de dirección, etc...
- Estas características trabajan bien a velocidad de crucero, con una velocidad y potencia determinadas, pero la compensación de la guiñada adversa puede ser insuficiente o excesiva para distintas velocidades y potencia.
- La resistencia diferencial debido a la diferente sustentación de las alas al iniciar un giro o al salir del mismo, produce guiñada adversa. Para contrarrestarla, al inicio o salida de un viraje además de alabear el avión tendrá que pisar el pedal del lado al que alabea.
- Una vez en el giro, la sustentación "girada" provoca una guiñada adversa constante. Por esta razón durante la realización del giro será necesario seguir aplicando pedal para anularla.
- Para mantener el eje longitudinal del avión alineado con la dirección de movimiento, lo que llamamos un giro coordinado, es necesario anular el ángulo de deslizamiento deflectando el timón de dirección hacia el lado del giro, es decir aplicando pedal de ese lado.
- El propósito principal del timón de dirección consiste en contrarrestar el efecto de la guiñada adversa y contribuir a mantener el control direccional del aeroplano".
- Vuele de forma coordinada recordando que: "la deflexión del timón de dirección debe ser proporcional a la deflexión de los alerones".
- El instrumento que muestra la calidad del giro, si este es coordinado, si el avión "derrapa", o si "resbala" es la bola del coordinador de viraje.

- La bola indica la resultante de las fuerzas aplicadas en un giro, mostrando de forma visual la coordinación o falta de coordinación en el uso de los mandos.
- Puesto que en un giro la magnitud de las fuerzas depende del grado de alabeo y del régimen o tasa de viraje, lo que está indicando la bola es la relación existente entre el régimen de viraje y el grado de alabeo, la "calidad" del viraje.
- Si la bola se desplaza hacia el lado contrario al viraje, el avión está derrapando. El grado de alabeo es insuficiente para el régimen de viraje impuesto, o viceversa.
- Para corregir el derrape, disminuya el régimen de viraje, incremente el grado de alabeo, no pise tanto el pedal interior, o una combinación adecuada de lo anterior.
- Si la bola se desplaza hacia el lado interior del viraje, el avión esta resbalando. El grado de alabeo es excesivo para ese régimen de viraje, o viceversa.
- Para corregir un resbale, aumente el régimen de viraje, disminuya el grado de alabeo, pise un poco más el pedal interior, o cualquier combinación adecuada de lo anterior.
- Derrapar es peor que resbalar: *nunca aplique pedal (timón) del lado interior al giro en más de lo necesario para mantener la bola centrada*.
- Aprenda a volar coordinado y comience por mirar a los lados: cuando alabea en un giro debe ver que un ala baja y otra sube; si una se mueve abajo y adelante y otra arriba y atrás entonces es que no está aplicando suficiente pedal. Aprenda a juzgar la actitud de morro por el ángulo que forma la cuerda del ala con el horizonte lateral y la actitud de alabeo por la altura relativa del borde del ala por encima o por debajo de ese horizonte. Mire al frente y memorice la actitud a mantener por el ángulo del morro del avión respecto al horizonte, sienta el ritmo con el cual el morro barre el horizonte para distintos grados de alabeo.
- Un resbale intencionado puede servir a distintos propósitos al piloto. Este resbale se efectúa bajando un ala con los alerones y aplicando pedal del lado contrario. La idea es alabear a un lado y no dejar que el avión vire a ese lado sino mantener la trayectoria recta aplicando pedal contrario.
- Mediante un resbale se puede disipar rápidamente un exceso de altura sin por ello incrementar la velocidad de descenso.
- También se emplea para aproximaciones y aterrizajes con viento cruzado. El avión se alabea hacia el lado del viento para contrarrestar la fuerza de esta y la deriva que produce, a la vez que aplicando pedal contrario se mantiene la trayectoria de vuelo y el eje longitudinal del avión alineados con el eje de la pista.
- Bajo determinados supuestos, un resbale puede ser útil en caso de aterrizaje de emergencia.
- Es muy importante constatar en el Manual de Operación del aeroplano si este puede o no alabear con flaps extendidos.

© M.A.Muñoz Dic/2001